



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06170645 A**

(43) Date of publication of application: 21.06.94

(51) Int. Cl.

B23H 1/02
B23H 7/22

(21) Application number: 04356602

(22) Date of filing: 03.12.92

(71) Applicant: **SODICK CO LTD**

(72) Inventor: **KANEKO YUJI**
ITO SHINJI
ARAIE ICHIRO
SHU KOJI

(54) ELECTRIC DISCHARGE MACHINING CONTROL METHOD AND ELECTRIC DISCHARGE MACHINE CONTROL DEVICE

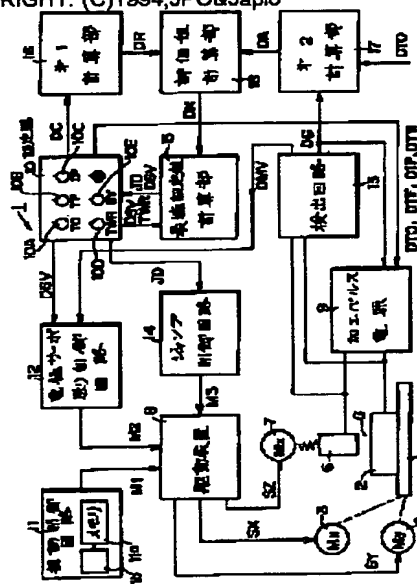
(57) Abstract:

PURPOSE: To achieve machining control of high performance with an inexpensive device by calculating a theoretical value data in accordance with a machining condition in an electric discharge machining pulse waveform, comparing an actual value data relating to an actual electric discharge machining pulse waveform with the theoretical value data, and controlling an adjusting unit.

CONSTITUTION: In order to execute electrode servo feed action and electrode jump action in a proper condition, relating to each value for specifying an electric discharge condition based on a machining condition data group from a setter 10, the first calculating part 16 for calculating a required theoretical value data DR is provided. Based on the actual data of an electric discharge machining gap G obtained from a detecting circuit 13, relating to each value for specifying the electric discharge condition, the second calculating part 17 for calculating a required actual value data DA is provided. An evaluation index data DX for showing a degree of stability of an electric discharge is calculated in an evaluation value calculating part 18 in

accordance with respective data DR, DA, and this data DX is used for calculating an optimum values of electrode feed control and jump control in an optimum preset value calculating part 15.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-170645

(43) 公開日 平成6年(1994)6月21日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 3 H 1/02		F 9239-3C		
7/22		9239-3C		

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平4-356602

(22) 出願日 平成4年(1992)12月3日

(71) 出願人 000132725

株式会社ソディック

神奈川県横浜市港北区新横浜1丁目5番1号

(72) 発明者 金子 雄二

神奈川県横浜市緑区仲町台三丁目12番1号
株式会社ソディック技術・研修センター内

(72) 発明者 伊東 慎治

神奈川県横浜市緑区仲町台三丁目12番1号
株式会社ソディック技術・研修センター内

(74) 代理人 弁理士 高野 昌俊

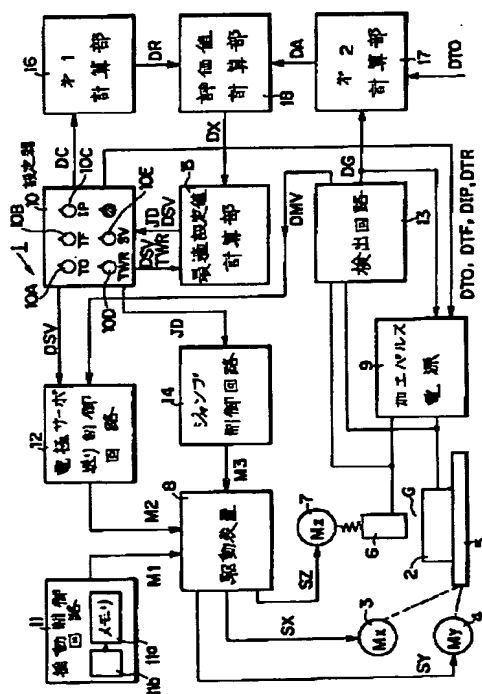
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電加工制御方法及び放電加工機用制御装置

(57) 【要約】

【目的】 所与の放電加工条件が変更された場合にもこれに対応して最適制御を行なうことができるようにした、放電加工制御方法及び放電加工機用制御装置を提供すること。

【構成】 放電加工間隙長をサーボ基準電圧に従って調節し、及び又はジャンプ指令信号にตอบสนองしてジャンピング制御を行なう放電加工制御方法において、加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値に関し、加工条件に従う理論値及び加工間隙から得られた検出信号に基づく実際値をそれぞれ計算し、理論値と実際値とから放電加工の状態を評価し、該評価結果にตอบสนองしサーボ基準電圧及び又はジャンピング制御のための制御パラメータを設定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 加工用電極と被加工物との間に形成される放電加工間隙に加工用パルス電圧を繰り返し印加しつつ前記被加工物を放電加工するため、前記加工間隙の間隙長を所与のサーボ基準電圧に従って調節し、及び又はジャンプ指令信号にตอบสนองして前記間隙長を拡大するための所要の相対運動を前記加工用電極及び又は前記被加工物に与えるための制御を行なう放電加工制御方法において、

前記加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値10 に関し、所与の加工条件に従う所要の理論値データ及び前記加工間隙から得られた電氣的信号に基づく所要の実際値データをそれぞれ計算し、
前記所要の理論値データと前記所要の実際値データとから前記加工間隙における放電加工の状態を評価するための評価値を計算し、
該評価値にตอบสนองし前記サーボ基準電圧及び又は前記所要の相対運動のための制御パラメータを設定する
各ステップを備えたことを特徴とする放電加工制御方法。

【請求項2】 前記評価値が、前記所要の理論値データと実際値データとに基づくファジィ推論処理、又はニューラルネットワークを用いた学習によって決定される請求項1に記載の放電加工制御方法。

【請求項3】 加工用電極と被加工物との間に形成される放電加工間隙に加工用パルス電圧を印加するための加工用パルス電源と、前記加工間隙の間隙長を所与のサーボ基準電圧に従って調節し及び又はジャンプ指令信号にตอบสนองして前記間隙長を拡大するための所要の相対運動を前記加工用電極及び又は前記被加工物に与えるための調節装置とを備えて成る放電加工機の制御装置において、前記調節装置に与える加工条件を設定するための設定手段と、

前記加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値に関し、前記設定手段において設定された所与の加工条件に従う所要の理論値データを計算するための手段と、
前記加工間隙の実際の電氣的状態を検出するための検出手段と、

前記加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値40 に関し、該検出手段にตอบสนองし所要の実際値データを得るための手段と、
前記所要の理論値データと前記所要の実際値データとにตอบสนองし前記加工間隙における放電加工の状態を評価するための評価値を計算するための計算手段と、
該計算手段からの出力にตอบสนองして所要の加工条件を変更制御する手段とを備えたことを特徴とする放電加工機用制御装置。

【請求項4】 前記計算手段が、前記所要の理論値データと実際値データとに基づくファジィ推論処理手段、又はニューラルネットワークを用いた学習手段として構50

成されている請求項3に記載の放電加工機用制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、放電加工状態に応じて所要の加工制御パラメータを適切に設定することができるようにした、放電加工制御方法及び放電加工機用制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】放電加工を行なう場合、作業者は、加工内容、すなわち、被加工物の加工面積、加工深さ、要求される加工寸法、面粗度等から、放電ON-OFF時間、加工電流値（電流波高値）、不安定加工の制御用検出レベル等の種々の加工パラメータを自己の経験等に基づいて設定して放電加工を開始する。そして、この後も、加工屑の排出不良による加工速度の低下等に対応するため、作業者は加工の進行に応じて、サーボ基準電圧、電極のジャンプ動作の周期とジャンプ量等のパラメータを自己の経験又はデータ表に従って適宜に調節し、その時々における最適な加工条件で加工を進めることが必要である。

【0003】ここで、サーボ基準電圧、電極のジャンプ動作の周期及びジャンプ量の設定は、加工速度と加工の安定性とをどのように調和させるかの問題である。例えばジャンプ周期を短くしジャンプ量を大きくすれば加工の安定性は増すがその反面単位時間当りの放電時間は少なくなり、加工速度が遅くなるという問題が生じることになる。したがって、この種の加工パラメータの設定には相当の熟練を必要とする。例えば、オシロスコープを使用する熟練作業者の場合、オシロスコープに表示された放電波形から、放電周波数、放電待機時間、無負荷電圧、短絡の発生具合等を全体的に観察し、この観察結果により、各加工パラメータを自己の経験に基づいて適宜に変更している。

【0004】このような熟練者の勘と経験による調節に代えて、非経験者によってもそれと同等の調節をファジィ推論によって自動的に行なうことができるようにした構成が、例えば、特開平2-303720号公報、特開平2-131838号公報等に開示されている。

【0005】前者の構成は、放電待機時間、無負荷電圧、加工間隙の平均電圧等から所与のファジィルールに従って放電安定度とその変化率とを推論し、これらに基づいて電極のジャンプ動作の周期とジャンプ距離の増分値とをファジィ制御するものである。一方、後者の構成は、加工条件を変更するための複数の手法を知識記憶部に推論部と独立して記憶しておき、複数の手法により得られた結果を合成または推論して加工条件の変更操作量を決定することにより作業者による操作と同等の操作を自動で行おうとするものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技

術においては、いずれも、極間の状態を種々の検出手段を用いて電氣的に検出し、その検出された複数の値を所与の基準値とそれぞれ比較することによって放電状態の良否あるいは安定度を判断し、この結果に基づき放電時間および休止時間、ジャンプ動作あるいはサーボ動作などを個々に制御する構成である。

【0007】この従来の構成によると、放電の良否等を判断するために必要な基準値は、その時の電氣的加工条件に応じた適切な値としなければならず、したがって、知識記憶部には種々の電氣的加工条件に応じた多数の基準値を用意しておき、その時の加工条件に応じた最適な基準値を与えることが要求される。

【0008】このように、従来の最適化制御は、過去に蓄積されたノウハウ的条件変更手法あるいは曲線の制御手法を知識記憶部に記憶しておき、その記憶された手法に基づき加工状態を例えばファジィ推論し、操作量を制御するものである。

【0009】したがって、操作量又は加工条件が制御のために変更されると、その次の制御のために変更後の条件に従う別の制御基準を用いる必要が生じ、従来のシステムでは、多数の判断手法を必要とする上に、多数の手法を用いることとなる。この結果、従来のシステムでは、処理速度が低下する、加工条件が変更された場合判断基準の異なる手法が多数必要となるか又は条件毎の判断基準を多数用意しなければならない、等の多くの問題点を有している。

【0010】本発明の目的は、したがって、より簡単な構成で、所与の放電加工条件が変更された場合にもこれに対応して最適制御を行なうことができるようにした、放電加工制御方法及び放電加工機用制御装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するための本発明の第1の特徴は、加工用電極と被加工物との間に形成される放電加工間隙に加工用パルス電圧を繰り返し印加しつつ前記被加工物を放電加工するため、前記加工間隙の間隙長を所与のサーボ基準電圧に従って調節し、及び又はジャンプ指令信号にตอบสนองして前記間隙長を拡大するための所要の相対運動を前記加工用電極及び又は前記被加工物に与えるための制御を行なう放電加工制御方法において、前記加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値に関し、所与の加工条件に従う所要の理論値データ及び前記加工間隙から得られた電氣的信号に基づく所要の実際値データをそれぞれ計算し、前記所要の理論値データと前記所要の実際値データとから前記加工間隙における放電加工の状態を評価するための評価値を計算し、該評価値にตอบสนองし前記サーボ基準電圧及び又は前記所要の相対運動のための制御パラメータを設定するようにした点にある。また、本発明の第2の特徴は、加工用電極と被加工物との間に形成される放電加工

間隙に加工用パルス電圧を印加するための加工用パルス電源と、前記加工間隙の間隙長を所与のサーボ基準電圧に従って調節し及び又はジャンプ指令信号にตอบสนองして前記間隙長を拡大するための所要の相対運動を前記加工用電極及び又は前記被加工物に与えるための調節装置とを備えて成る放電加工機の制御装置において、前記調節装置に与える加工条件を設定するための設定手段と、前記加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値に関し、前記設定手段において設定された所与の加工条件に従う所要の理論値データを計算するための手段と、前記加工間隙の実際の電氣的状態を検出するための検出手段と、前記加工間隙に生じる放電の状態を特定するための各値に関し、該検出手段にตอบสนองし所要の実際値データを得るための手段と、前記所要の理論値データと前記所要の実際値データとにตอบสนองし前記加工間隙における放電加工の状態を評価するための評価値を計算するための計算手段と、該計算手段からの出力にตอบสนองして所要の加工条件を変更制御する手段とを備えた点にある。

【0012】

【作用】所与の加工条件に従って計算された加工間隙に生じる放電の状態に関する所要の理論値データと検出手段等によって検出された加工間隙における実際の電氣的状態から計算された所要の実際値データとに基づいて、放電加工の状態を評価し、この評価結果に従って最適制御が実行される。

【0013】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の一実施例につき詳細に説明する。

【0014】図1は、本発明による放電加工機用制御装置を備えて成る型彫放電加工機の一実施例の全体構成を示す。総体的に符号1で示される放電加工機は、被加工物2をX-Y平面上における所要の位置に位置決めするため、X軸サーボモータ3及びY軸サーボモータ4によって駆動されるY-Y移動テーブル5を有し、被加工物2と対向するように図示しない電極保持装置に取り付けられている加工用電極6は、Z軸サーボモータ7により図示しない電極保持装置と一緒に、X-Y平面に垂直なZ軸方向に沿って移動させることができる構成となっている。これらのX、Y、Z軸サーボモータ3、4、7は、駆動装置8からのサーボモータ駆動信号SX、SY、SZにตอบสนองしてその回転が制御される。

【0015】加工パルス電源9は、設定器10に設けられている設定スイッチ10A、10B、10C、10Dにより操作者が設定した所定の電氣的加工条件、すなわち、加工パルスのオン時間設定値TO、加工パルスのオフ時間設定値TF、加工電流のピーク設定値IP、無負荷加工電圧設定値TWRを示す、設定データDTO、DTF、DIP、DTRを設定器10から受取っており、これらの設定データに従う放電加工パルス電圧及び放電加工電流を被加工物2と加工用電極6との間に与える構

成となっている。

【0016】符号11で示される揺動制御回路11は、被加工物2の加工形状寸法に関するデータ、揺動パターンデータ、揺動巾データ等を入力装置11bから或いは適宜の外部装置から任意にセットすることができるメモリ11aを有しており、メモリ11aにストアされている所要の加工形状寸法データ等に従って、被加工物2を加工するのに必要なX-Y平面内における被加工物2と加工用電極6との間の相対運動を与えるための第1指令信号M1が駆動装置8に送られる。駆動装置8は、第1指令信号M1に従ってサーボモータ駆動信号SX、SYを出力し、これにより所要の加工に必要なX-Y平面内での相対揺動運動が被加工物2と加工用電極6との間に与えられる。

【0017】電極サーボ送り制御回路12は、設定器10により設定されたサーボ基準電圧設定値SVを示す設定データDSVを設定器10から受取ると共に、被加工物2と加工用電極6との間に形成される放電加工間隙Gにおける電氣的状態を検出するための検出回路13から、平均加工電圧値MVを示す平均加工電圧データDMVを受取っており、両入力データDSV及びDMVに20 応答し、後で詳しく述べるようにして加工用電極6のサーボ送り制御のための第2指令信号M2が出力され、駆動装置8に与えられる。駆動装置8は、第2指令信号M2に従いサーボモータ駆動信号SZをZ軸サーボモータ7に送り、放電加工間隙Gの長さが最適な値となるように加工用電極6をZ軸に沿ってサーボ送り制御する公知の構成となっている。

【0018】符号14は、放電加工間隙Gに溜った加工屑を排除させる目的で加工用電極6を被加工物2から大きく引き離すためのジャンプ動作を指令する第3指令信号M3を出力するためのジャンプ制御回路14である。そのジャンプ動作の指令内容は、評価値計算部18から後述するようにして出力される放電の安定度を示す評価指数データDXに従って定められる。第3指令信号M3が出力されると、駆動装置8は第2指令信号M2に優先して第3指令信号M3に20 応答して作動し、所要のジャンプ動作のために必要なサーボモータ駆動信号SZを出力する。

【0019】電極サーボ送り制御回路12による電極サーボ送り動作、及びジャンプ制御回路14による電極ジャンプ動作をその時の放電加工状態に応じた適切な条件でそれぞれ行なうことができるようにするため、図1に示す型彫放電加工機1は、設定器10からの加工条件データ群DCに基づいて放電加工間隙Gに生じる放電の状態を特定するための各値に関し、所与の加工条件に従う所要の理論値データDRを計算する第1計算部16と、検出回路13から得られる放電加工間隙Gの実際の電氣的状態に関する間隙状態データDGに基づき、放電加工間隙Gに生じている放電の状態を特定するための各値に関

し、所要の実際値データDAを計算するための第2計算部17と、理論値データDRと実際値データDAとに25 応答して放電の安定度を示す評価指数データDXを計算して出力する評価値計算部18とを有している。

【0020】設定器10から出力される加工条件データ群DCは、既述の設定データDTO、DTF、DSV、及びDTRから成り、第1計算部16では、以下に示す(1)乃至(4)の理論値が加工条件データ群DCに基づいて計算される。

10 【0021】(1) 放電待機中電圧理論値RA

この値RAは無負荷加工電圧設定値TWRに等しいものとされる。

(2) 1放電あたりの放電待機時間理論値RB

この値RBは、放電時に放電加工間隙に生じる電圧を30Vと仮定し、下式により決定される。

$$RB = \{TO \times (SV - 30) + TF \times SV\} / (TW - SV)$$

(3) 放電周期理論値RC

RCは、RBに、TO、TFを加えたものと考えられるので、下式で示される。

$$RC = RB + TO + TF$$

(4) 放電周波数理論値RD

RDの値は、

$$RD = 1 / RC \quad [Hz]$$

で与えられる。

【0022】これらの理論値を図2に示す放電加工パルス波形中に示す。設定器10において設定される加工条件から計算されたこれらの理論値RA乃至RDのうち、放電待機中電圧理論値RA

30 1放電あたりの放電待機時間理論値RB

放電周波数理論値RD

を示す理論値データDRが評価値計算部18に与えられる。

【0023】ここで、各設定値TO、TF、SV、TWRに数値を与えて各理論値RB、RC、RDを求めると次の通りである。

例1:

オン時間設定値TO=120(μsec)

オフ時間設定値TF=20(μsec)

サーボ基準電圧設定値SV=70(V)

無負荷加工電圧設定値TWR=200(V)

の場合、各理論値は、

放電待機時間理論値RB 約 48(μsec)

放電周期理論値RC 約 188(μsec)

放電周波数理論値RD 約 5319(Hz)

となる。例1の場合には、上記の如き理論値において放電が行なわれることが予定されるので、例えば放電待機時間の適切な値は実待機時間が48(μsec)より短いか長いかを判断して決定すべきである。したがって、実待機時間が48(μsec)よりも短すぎる場合は、

加工が悪い状態であることを示すことになる。

【0024】例2:

オン時間設定値TO=240(μsec)

オフ時間設定値TF=30(μsec)

サーボ基準電圧設定値SV=90(V)

無負荷加工電圧設定値TWR=280(V)

の場合、各理論値は、

放電待機時間理論値RB 約 90(μsec)

放電周期理論値RC 約 360(μsec)

放電周波数理論値RD 約2778(Hz)

となる。したがって、例2の場合では、若し実放電待機時間が例1の場合には適切であった48(μsec)であったとすると、加工状態が極めて悪いということになってしまう。また、例2の場合では適切な90(μsec)を例1の基準値である48(μsec)と比較すれば、加工状態がかなり良いと判断されてしまう。

【0025】すなわち、所与の基準値(理論値)に対して実際の値が大きい小さいかという判断方式では、加工条件が1つでも変更される毎にその基準値を変更しなければならず、このことは各加工条件毎の基準値を予め用意しておくことを意味する。また、ファジィ推論を用いる場合にも、各々の条件に合ったルールとメンバーシップ関数とを用意しなければならない。このように、着目したパラメータの基準値と実際の値とを単に比較して加工の状態を判断する方式では、判断のための基準値又はルールを多数用意しておく必要があるため、大きなメモリ容量を確保しなければならない上に、演算も複雑になる等の欠点を有している。本発明はこの様な不具合を以下説明するようにして解決しようとするものである。

【0026】検出器13は、加工間隙Gに生じる電圧信号に応答し、平均加工電圧値MV、及び所定のサンプリング時間内における、実放電回数PN、実放電待機時間の合計時間TTを検出する構成であり、これらの検出値を示すデータが間隙状態データDGとして出力される。間隙状態データDGは、加工パルス電源9と第2計算部17とに供給されている。加工パルス電源9では、間隙状態データDGにตอบสนองし、既存の方式にて各種電氣的加工パラメータの制御が行なわれているが、その詳細については説明するのを省略する。

【0027】第2計算部17では、放電状態を示す種々の実際の値を算出する。図示の実施例では、検出器13より送られた間隙状態データDGと設定器10から送られたデータDTOとに基づき放電状態を示す種々の実際の値を以下に示す式に基づいて算出する。

(a) 実放電周波数AF

$$AF = PN \times K1$$

ここで、K1はサンプル期間SPによって定まる係数である。

(b) 1パルス当りの平均放電待機時間AT

1サンプル期間中における放電待機時間の総和はTTで

あるから、

$$AT = TT / PN$$

(c) 1パルス当りの放電平均待機電圧ALV

$$ALV = \{SP \times MV - 30 \times DPN \times TO\} / (DT \times DPN)$$

この計算結果を示す実際の値データDAが評価値計算部18に入力される。なお、上記では各実際の値を計算によって得る場合を示したが、これらの実際の値を検出回路13で直接検出する構成とし、検出回路13で直接検出された実際の値データをそのまま評価値計算部18に入力する構成としてもよい。

【0028】図3に示されるように、評価値計算部18は比較部18Aとファジィ推論部18Bとから成り、比較部18Aでは、理論値データDRの内容と実際の値データDAの内容とを単純に比較し、これにより放電加工間隙Gにおける放電状態の良否を評価するための値が計算される。すなわち、各理論値に対する実際の値の乖離率A、B、Cが計算される。

$$\text{無負荷電圧乖離率} A = ALV / RA$$

$$\text{無負荷時間乖離率} B = AT / RB$$

$$\text{周波数乖離率} C = AF / RD$$

そして、この3つの乖離率を示す値A、B、Cがファジィ推論部18に入力され、ここで、放電状態を評価する評価指数データDXを得るために以下のルールに従ってファジィ推論処理される。

【0029】すなわち、図4、図5、図6に示される乖離率A、B、Cの各メンバーシップ関数を用い、これらの乖離率と安定度STとの間の関係を規定する下記のルール(a)~(k)に従って各ルールのグレードが先ず決定される。

(a) IF A=L, then ST=L

(b) IF A=ML, then ST=MS

(c) IF A=S, then ST=S

(d) IF B=L, then ST=S

(e) IF B=ML, then ST=MS

(f) IF B=MS, then ST=L

(g) IF B=S, then ST=S

(h) IF C=L, then ST=S

(i) IF C=ML, then ST=MS

(j) IF C=MS, then ST=L

(k) IF C=S, then ST=S

ここで、各ファジィ関数の定義は以下の通りである。

L・・・大きい

ML・・・少し大きい

MS・・・少し小さい

S・・・小さい

【0030】各ルールのグレードが決定された後、図7に示す出力メンバーシップ関数を用いて各ルールが実行され、これにより、安定度を示す値が評価指数データDXとして得られる。この評価指数データDXは最適設定値

計算部15に入力され、ここで、電極サーボ送り制御のためのサーボ基準電圧設定値SVのその時々最適値、及びジャンプ制御回路14に与えるべきジャンプ制御量の最適値が後述の如くして計算される。

【0031】上記説明では、第1計算部16、第2計算部17、及び評価値計算部18によって、放電状態の評価を、着目したパラメータに関し、単に理論値と実際値との比に基づいてファジィ推論して決定する構成の一例を説明したが、これに代えて、第1計算部16、第2計算部17、及び評価値計算部18を、以下に説明するような構成としてもよい。

【0032】第2計算部17では、前述の場合と同様にして放電状態を示す種々の実際値、実放電周波数AF、1パルス当りの平均放電待機時間AT、及び1パルス当りの放電平均待機電圧ALVが計算される。実際の放電状態を示すこれらの値AF、ALV、ATを示す実際値データDAが第2計算部17から評価値計算部18に送られる。加工条件が変更された場合、第1計算部16から送られてくる理論値データDRはこれに応じて変更される。したがって、評価値計算部18では、加工条件が変更された場合にも、両入力データをそのまま比較することができる。すなわち、本発明による上述の構成によれば、加工条件を変更しても、その変更された後の条件に従う新しい基準が第1計算部16で理論値データDRとして計算されて評価値計算部18に供給されるので、評価値計算部18では、第1計算部16から与えられる理論値データDRに基づいて、現在進行中の加工の状態が安定状態にあるか否かを常に正しく判断できるのである。なお、このことは図3に示した構成による場合も全*

*と同様である。したがって、いずれにしても、複雑な判断ルールや基準値を多数用意することなく、加工条件の変更に対応することができる。

【0033】図8は、この場合における評価値計算部の構成を示すブロック図であり、入力データを記憶するためのメモリ18Dを有する指数計算部18Cとファジィ推論部18Eとが設けられている。第2計算部17より送られてくる実際値データDAはメモリ18Dに記憶される。このメモリ18Dには、50回前までの各サンプリング期間におけるデータを蓄積しておくことができ、メモリ18Dの内容は第2計算部17より新しいデータDAが送られてくる度に更新され、常に、最新の50サンプリング分のデータが蓄積されている。

【0034】指数計算部18Cでは、メモリ18D内のデータを読み出し、以下に示す(イ)乃至(ハ)の各値が計算される。

(イ) 放電周波数率AFP

$$AFP = (AF / RD) \times 100$$

【0035】(ロ) 平均放電周波数率MAFP

過去50回のサンプリングデータについての平均放電周波数率MAFPは、n回前の放電周波数率をAFP(n)とすれば、

$$MAFP = \frac{\sum_{n=0}^{50} AFP(n)}{50}$$

【0036】(ハ) 放電周波数率のばらつきXA
過去50個のサンプリングデータに基づいて、

$$XA = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{50} (AFP(n) - MAFP)^2}{50}}$$

【0037】(ニ) 放電周波数のばらつき値過去20回の和SB
n回前の放電周波数率ばらつきをXA(n)とすると、

$$SB = \sum_{n=0}^{20} XA(n) \quad ※40$$

$$MALV = \frac{\sum_{n=0}^{50} ALV(n)}{50} \times \frac{1}{TWR}$$

【0039】(ヘ) 実際の放電待機時間の発生率NGAT
これは、AB/RBの値が0.1より小さい放電回数が過去50回の放電のうちに何回あったかを示すものである。

【0040】このようにして得られた放電の良否を表す

※【0038】(ホ) 実放電平均待機電圧ALVの過去50個の平均値をTWRで割った値MALV
n回前の実放電平均待機電圧をALV(n)とすると、

値MALV、NGAT、XA及びSBはファジィ推論部18Eに入力され、ファジィ推論部18Eではこれらの入力値に基づき、放電の安定度が下記のルール(1)乃至(15)に従ってファジィ推論される。図9乃至図12には各メンバーシップ関数が示されている。

(1) IF MALV=L, then ST=L

11

12

(2) IF MALV=ML, then ST=MS

(3) IF MALV=MS, then ST=S

(4) IF MALV=S, then ST=S

(5) IF MGAT=L, then ST=S

(6) IF MGAT=M, then ST=MS

(7) IF MGAT=S, then ST=L

(8) IF XA=L, then ST=S

(9) IF XA=ML, then ST=MS

(10) IF XA=MS, then ST=ML

(11) IF XA=S, then ST=L

(12) IF SB=L, then ST=S

(13) IF SB=ML, then ST=S

(14) IF SB=MS, then ST=MS

(15) IF SB=S, then ST=L

ここで、各ファジ関数の定義は以下の通りである。

L・・・大きい

ML・・・少し大きい

M・・・中位

MS・・・少し小さい

S・・・小さい

【0041】前述の場合と同様にして、各ルールのグレードが決定された後、図6に示した出力メンバシップ関数を用いて各ルールが実行され、これにより安定度を示す値が評価指数データDXとして得られる。このようにして得られた評価指数データDXは最適設定値計算部15に送られる。

【0042】次に、最適設定値計算部15について説明すると、最適設定値計算部15は公知のマイクロコンピュータを用いて構成されており、そこに予めストアされている最適設定値計算プログラムに従って評価指数データDXが処理される構成である。

【0043】図13は、電極サーボ送り制御のための最適サーボ基準電圧設定値を評価指数データDXを考慮して計算するための第1最適設定値計算プログラムプログラムを示すフローチャートである。このフローチャートについて説明すると、このプログラムは所定時間間隔で起動され、その実行が開始されると、先ずステップ31で無負荷加工電圧設定値TWRに基づきその上限値TWR_Hと下限値TWR_Lとが計算された後、ステップ32に入る。ステップ32では、設定器10から与えられた設定データDSVに基づき設定器10において現在設定されているサーボ基準電圧設定値SVの値が上記上限値TWR_Hと下限値TWR_Lとの間に入っているか否かが判別される。ステップ32での判別結果がYESの場合には、ステップ33に進み、ここで、連続して得られた

100個の評価指数データDXの平均値MDXが計算される。

【0044】なお、ステップ32の判別結果がNOの場合には、ステップ34に入り、ここでエラーコメントを出力し、次のステップ35において上限値TWR_Hの値をその時の最適サーボ基準電圧設定値を示す値として設定データDSVにセットする。しかる後、ステップ36において設定器10に対しこの最適サーボ基準電圧設定値を示している設定データDSVを出力し、ステップ32に戻る。これにより、設定器10ではサーボ基準電圧設定値が最適設定値計算部15から送られてきた設定データDSVに従うその時の最適サーボ基準電圧設定値に変更される。この変更は、例えば、設定器10内に適宜のレジスタを設けておき、このレジスタには初期値として設定スイッチ10Eによる設定値をストアし、その後、レジスタの内容が最適設定値計算部15から送られてきた設定データDSVに従うその時の最適サーボ基準電圧設定値に変更される構成とすることにより実現してもよい。その他の設定スイッチによりセットされるデータについても同様の構成とすることができる。このようにして、ステップ34乃至36における処理により、設定値データDSVの値がTWR_Hに等しくされるため、ステップ32の判別結果はYESとなり、ステップ33に進むことになる。

【0045】ステップ37では、平均値MDXが60より大きいかが判別され、MDV>60であると、ステップ37の判別結果はYESとなり、ステップ38に入り、ここでDSVの値から10を差し引いた値を新しい設定データDSVの内容に置き換え、ステップ39に進む。ステップ39では、DSV>TWR_Lか否かが判別され、その判別結果がYESであればステップ40に入り、ここでステップ38で得られた設定データDSVを設定器10に出力し、今回のプログラムサイクルの実行が終了する。一方、ステップ39でDSV≤TWR_Lであると、その判別結果はNOとなり、ステップ41に入り、ここでTWR_Lが設定データDSVとしてセットされ、ステップ40に進む。

【0046】一方、ステップ37でMDX≤60であると、その判別結果はNOとなり、ステップ42に入る。ここで、さらにMDX<40か否かが判別され、MDX≥40であると今回のプログラムサイクルの実行が終了する。ステップ42でMDX<40であると、その判別結果はYESとなり、ステップ43において設定データDSVの内容を10だけ増加させる処理が実行され、しかる後、ステップ44に入る。ステップ44では、DSV<TWR_Hか否かが判別される。DSV<TWR_Hであるとステップ44の判別結果はYESとなり、ステップ40に入り、ここで、ステップ43で変更された設定データDSVが出力される。

【0047】一方、DSV≥TWR_Hであると、ステッ

ブ44の判別結果はNOとなり、ステップ45に入り、ここで TWR_H の値が設定データDSVとしてセットされる。このようにしてステップ45が実行された後、ステップ40においてステップ45においてセットされた設定データDSVが出力され、今回のプログラムサイクルの実行が終了する。

【0048】上述したサーボ基準電圧設定値の最適値決定方法は一例であり、評価指数データDXの値を参考にして他のアルゴリズムによって最適サーボ基準電圧設定値を決定してもよいことは勿論である。このようにして設定器10に設定された最適サーボ基準電圧設定値を示す設定データDSVは、電極サーボ送り制御回路12に送られ、電極サーボ送り制御回路12はこの最適サーボ基準電圧設定値を示す設定データDSVに従って、電極6と被加工物5との間のZ軸方向の相対送り運動のサーボ制御を行なう。

【0049】図14は、ジャンプ制御のための最適ジャンプ制御量を評価指数データDXを考慮して計算するための第2最適設定値計算プログラムプログラムを示すフローチャートである。このフローチャートについて説明すると、このプログラムは所定時間間隔で起動され、その実行が開始されると、まずステップ51で連続して得られた100個の評価指数データDXの平均値MDXが計算され、次のステップ52において $MDX > 40$ か否かが判別される。

【0050】 $MDX > 40$ であると、ステップ52の判別結果はYESとなり、ステップ53で下降期間DNを100 (msec) 延ばしたら2000 (msec) 以上となるか否かが判別される。ステップ53の判別結果がYESの場合にはステップ54に進み、ここで、上昇期間UPを100 (msec) 短縮する処理が行なわれ、ステップ63で制御データを出力する為の処理が実行された後今回のプログラムの実行が終了する。ステップ53の判別結果がNOの場合には、ステップ55に進み、ここでDNを100 (msec) 延ばす処理が実行されたのちステップ63が実行され、プログラムの実行が終了する。

【0051】一方、ステップ52で $MDX \leq 40$ であると、その判別結果はNOとなりステップ56に入り、ここでさらに $MDX < 20$ か否かが判別される。 $MDX < 20$ であるとステップ56の判別結果はYESとなり、ステップ57に入る。ステップ57でDNを300 (msec) にすると共にUPを100 (msec) 延ばす処理が実行されたのちステップ61に入り、ここで、UPの値が上限値か否かが判別される。ステップ61の判別結果がNOの場合にはステップ63に入るが、ステップ61の判別結果がYESの場合にはステップ62に入り、ここでエラーコメントが出力され、加工を中止する処理が実行される。しかる後、このプログラムの実行が終了する。ステップ56において $MDX \geq 20$ である

と、その判別結果はNOとなり、ステップ58に入る。ステップ58では、DNを100 (msec) 短縮したら300 (msec) 以下となるか否かが判別され、その判別結果がNOの場合にはステップ60に入り、DNを300 (msec) とし且つUPを100 (msec) 延ばす処理が実行される。ステップ58の判別結果がYESの場合にはステップ59でDNを100 (msec) 短縮する処理が実行される。ステップ59又は60の実行後、ステップ61が実行される。

【0052】第2最適設定値計算プログラムプログラムの実行によって得られた制御データJDは、一旦設定器10に送られ、しかる後電極のアップ/ダウンの時間を決定するためのデータとしてジャンプ制御回路14に入力される。このようにして、ジャンプ制御回路14においては、放電の安定度を示すデータである評価指数データDXの平均値の大きさに応じて電極のアップ/ダウンの時間が変更される構成となっている。なお、図14に示したアルゴリズムは一例であり、評価指数データDXにより、この他の適宜のアルゴリズムにより、電極のアップ/ダウンの時間を変更することができるのは勿論である。

【0053】放電状態そのものを表わす検出値は、極間の状態変化に対して非常に敏感に反応する。従来のシステムでは、この種の検出値をそのまま入力して評価する構成のものがあるが、この構成では、極間の状態変化に対して応答性が良すぎてしまい、放電状態に見合った制御を実行させることは非常に難しいという問題を有していた。また、軸作動や加工速度等を検出してフィードバックする制御システムも従来から使用されてきているが、この構成の場合には、逆に、応答が遅すぎてしまい、放電状態が実際に悪い状態に入ってからこれを回避するための制御が行なわれるので、加工速度の低下を招いてしまうという問題を生じている。これに対し、本発明を適用した上述の構成では、ばらつき状態、所定のサンプリング期間内の平均値、又はその割合を用いて制御を行なうので、適度の応答性をもって制御が実行される。この結果、熟練者が操作した場合に近い操作を実現することができる。

【0054】上記実施例では、評価指数データDXを決定するのにファジィ推論の手法を用いた場合を説明したが、ファジィ推論の代えてニュートラルネットワークを用いた学習方式で評価指数データDXを決定する構成としてもよい。

【0055】図15には、図3のファジィ推論部18Bに代えて使用することができるニュートラルネットワークシステムの一例が示されている。このニュートラルネットワークシステム30は、比較部18Aからの各乖離値A、B、Cを受取る入力層31と、第1及び第2中間層32、33と、出力層34とを有し、出力層34には適宜の教師信号TAが与えられている。この教師信号T

Aを得るために図3に示したファジィ推論部18Bを使用することも可能である。出力層34から得られた評価指数データDXは最適設定値計算部15に入力される。

【0056】図16には、図8のファジィ推論部18Eに代えて、サーボ送り制御及びジャンプ制御のための操作量を決定するために用いられる、ニュートラルネットワークを用いて操作量を決定する操作量決定装置40が示されている。操作量決定装置40は、指数計算部18Cからの各信号MALV、NGAT、XAが入力される入力41と、第1及び第2中間層42、43と、出力層44とを有するニュートラルネットワークを有している。符号45で示されるのは図8に示されるファジィ推論部18Eと同一構成のファジィ推論部であり、このファジィ推論部45からの出力される評価指数データDXは最適設定値計算部15と同様に構成されている最適設定値計算部46に入力され、ここで、評価指数データDXに従う、サーボ基準電圧、ジャンプ周期、ダウン時間、アップ時間の最適設定値が決定され、最適設定値計算部46から決定された設定データが出力される。この設定データは出力層44に教師信号TBとして与えられる。学習則はバックプロパゲーションにて行なうよう構成する。

【0057】この構成による場合には、実際の種々の加工を行なう学習中はニューラルネットワークの出力は実際の回路からは切り離しておく。ファジィ推論部からの出力が変わる度に学習指令信号をニューラルネットワークに送りニューラルネットワークを学習させていく。この操作を切り離されたニューラルネットワークからの出力がファジィ推論部からの出力と一致するようになるまで繰り返し行なう。

【0058】また、既にファジィ推論結果のデータベースをROM等の記憶媒体に用意されている場合はROMからのデータを順次ニューラルネットワークに与えて学習させても良い。さらに学習が終了したニューラルネットワークを用い本発明を実施するが、放電加工には種々の状態が考えられるのでニューラルネットワークからの出力が作業者の経験による操作量が優れている場合再びその操作量を教師信号として学習させることにより、より適切な制御を行なうことができるようになる。

【0059】ニューラルネットワークを用いた場合は上記(イ)～(ハ)の情報の他に加工深さに関する情報を周期的に位置検出器から入力として与えることや揺動状態と形状、噴流の状態、被加工物の材質、電極の材質等の情報も与えることにより、より多くの情報を処理し最も最適な条件設定が行なえるようになる。

【0060】

【発明の効果】本発明によれば、放電加工パルス波形に関する理論値データを加工条件に従って計算し、実際の放電加工パルス波形に関する実際値データを理論値データと比較することによって、調節装置を制御する構成と

したので、放電加工の状態の評価が加工条件の変更によって直接影響を受けることなく行なえ、複雑なアルゴリズム、又は加工状態を評価するための多数の基準値を用意する必要がないので、安価な装置で極めて高性能の加工制御を実現することができる。また、従来の軸挙動を検出する装置に比べ、軸挙動の原因となる放電波形に基づいて評価を行なうので、より応答性の高い制御が可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す構成図。

【図2】図1の第1計算部において計算される理論データの値を説明するための放電波形図。

【図3】図1の評価値計算部の構成を示すブロック図。

【図4】図3のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のためのメンバシップ関数を示す線図。

【図5】図3のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のためのメンバシップ関数を示す線図。

【図6】図3のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のためのメンバシップ関数を示す線図。

【図7】図3のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のための出力メンバシップ関数を示す線図。

【図8】図1の評価値計算部の他の構成を示すブロック図。

【図9】図8のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のためのメンバシップ関数を示す線図。

【図10】図8のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のためのメンバシップ関数を示す線図。

【図11】図8のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のためのメンバシップ関数を示す線図。

【図12】図8のファジィ推論部で用いられるファジィ推論のための出力メンバシップ関数を示す線図。

【図13】図1の電極サーボ送り制御回路の為の電極サーボ送り制御プログラムを示すフローチャート。

【図14】図1のジャンプ制御回路の為のジャンプ制御プログラムを示すフローチャート。

【図15】図3のファジィ推論部に代えて用いることができるニューラルネットワークを用いた評価値計算のための構成を示す構成図。

【図16】図8のファジィ推論部に代えて用いることができるニューラルネットワークを用いた制御のための操作量を決定するための構成を示す構成図。

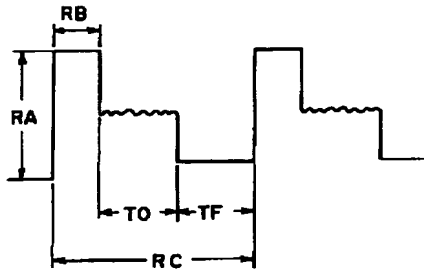
【符号の説明】

- 1 放電加工機
- 2 被加工物
- 6 加工用電極
- 9 加工パルス電源
- 10 設定器
- 12 電極サーボ送り制御回路
- 13 検出回路
- 14 ジャンプ制御回路

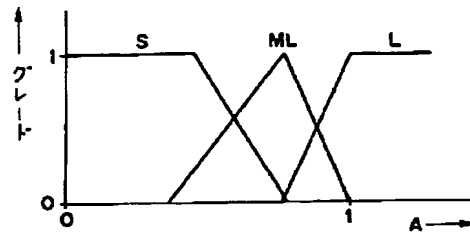
- DG 間隙状態データ
DR 理論値データ
DSV 設定データ
DX 評価指数データ
JD 制御データ

[illegible]

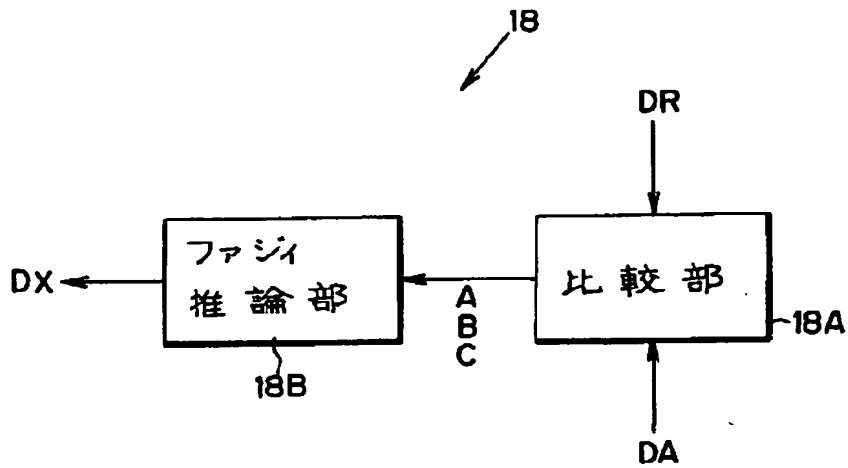
【図2】



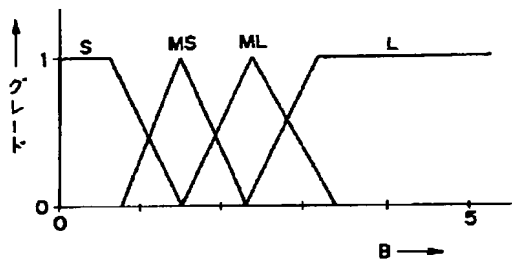
【図4】



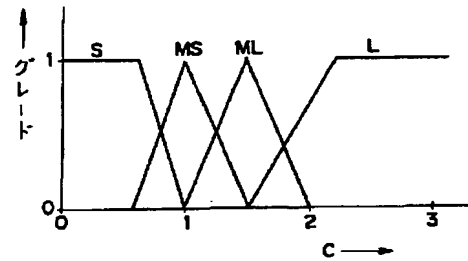
【図3】



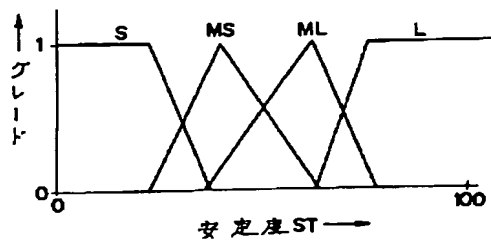
【図5】



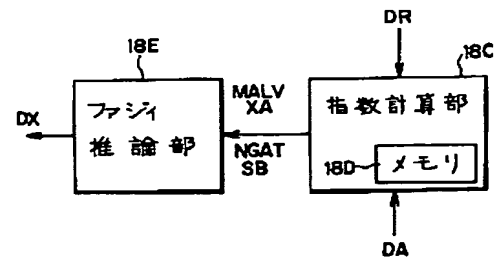
【図6】



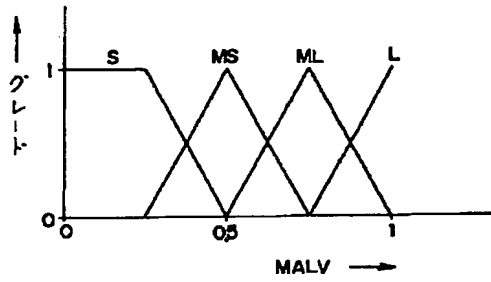
【図7】



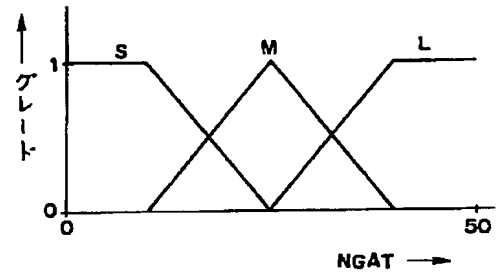
【図8】



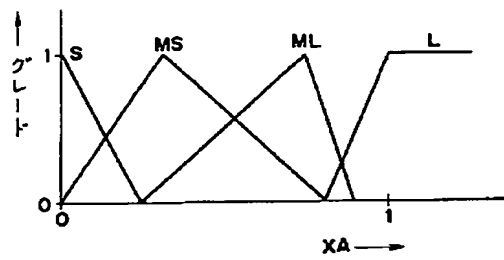
【図9】



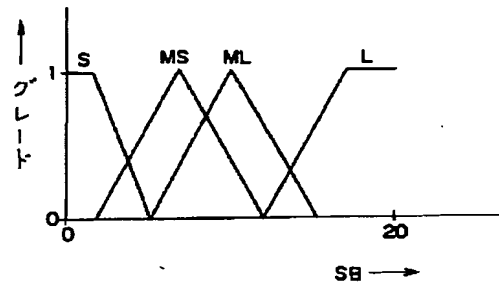
【図10】



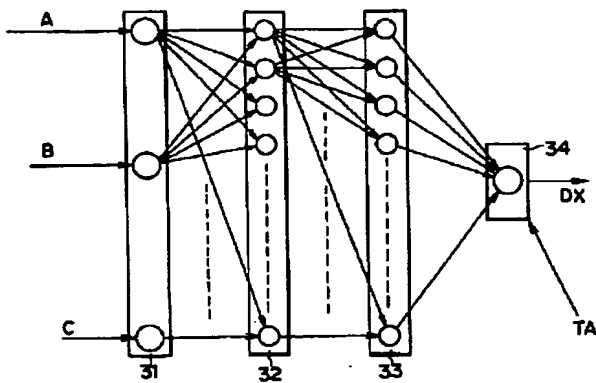
【図11】



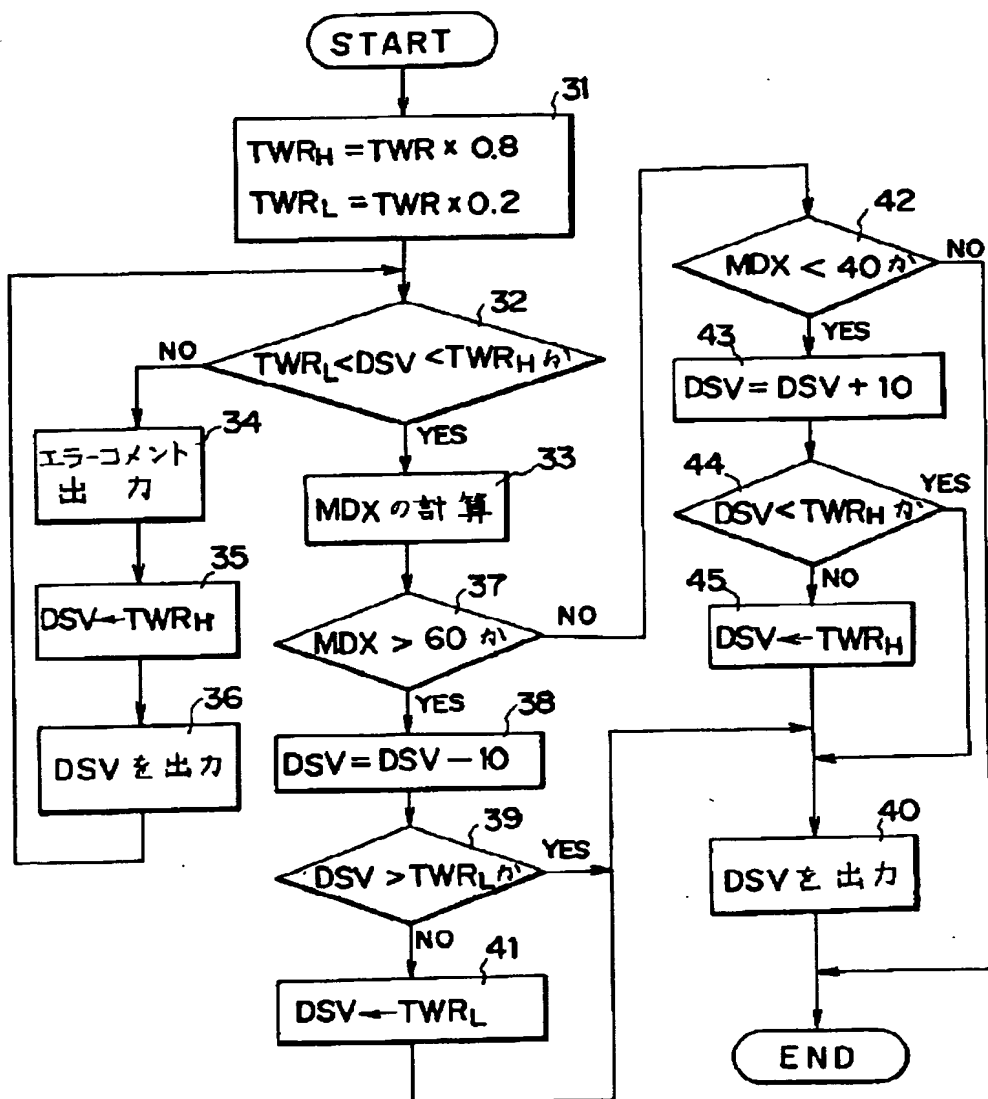
【図12】



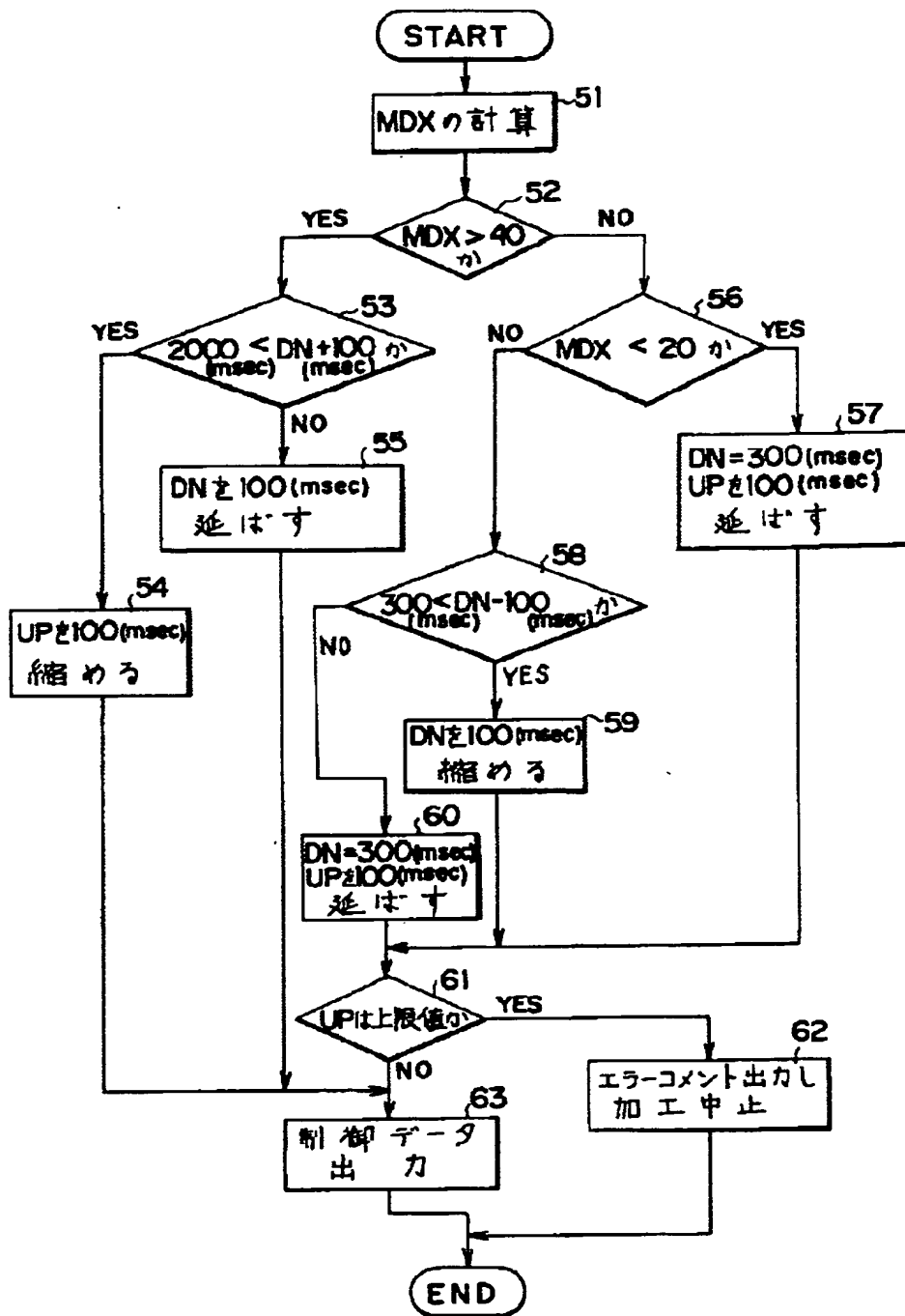
【図15】



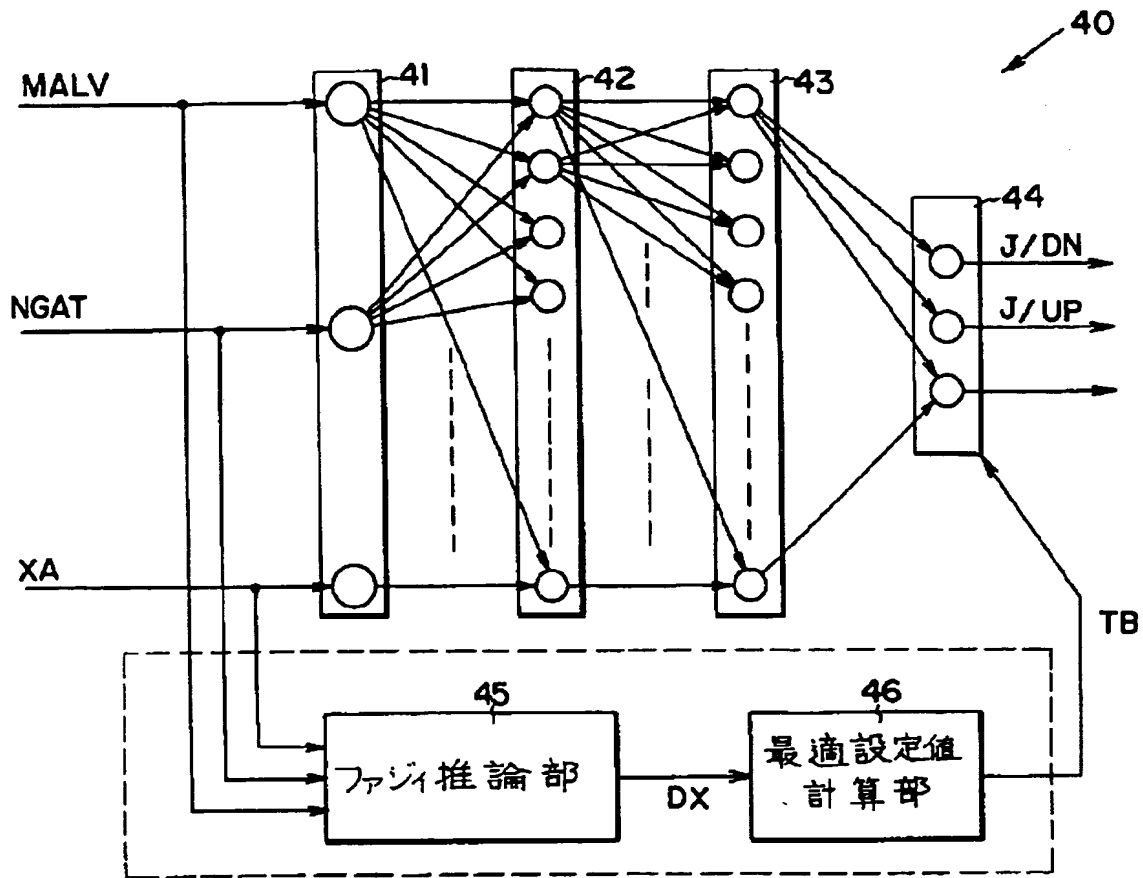
【図13】



【図14】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 荒家 一朗

神奈川県横浜市緑区仲町台三丁目12番1号
株式会社ソディック技術・研修センター
内

(72)発明者 朱 鴻治

神奈川県横浜市緑区仲町台三丁目12番1号
株式会社ソディック技術・研修センター
内